

産学共創基礎基盤研究プログラム 令和元年度事後評価結果

1. 研究課題名：ナノクラスタリング・ナノ析出の学理に基づく鉄鋼材料の表面硬度分布制御と摩擦摩耗特性向上の指導原理確立

2. 研究代表者：宮本 吾郎（東北大学 金属材料研究所 准教授）

3. 研究概要

窒素-置換型添加元素間 (N-s) の相互作用を実験・理論両面から解明し、ナノクラスタリング・ナノ析出の学理を構築するとともに、フェライト低合金鋼の窒化におけるナノクラスタリング制御に応用することで高い表面硬度と厚い硬化層を同時に付与し、優れた摩擦摩耗特性を実現する方法を提案・実証することを目標としている。理論グループ (N-s の多体相互作用を取り入れた熱力学モデル構築)、基礎実験グループ (N-s 相互作用の実験的測定)、応用実験グループ (窒化处理への応用) が有機的に連携し成果をあげた。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果

フェライト低合金鋼の表面窒化による耐摩耗性向上を達成するために必須となる基礎研究に取り組み、多くの新知見を得るとともに耐摩耗性向上の指導原理を解明しつつあり、高く評価される。V-N 及び Ti-N ナノクラスター析出による強化を実験により明らかにするとともに、多体相互作用を陽に取り込んだ精緻なモデルに基づく熱力学解析と弾性歪を考慮したモンテカルロシミュレーションによりクラスター析出過程を解明し、2相分離の関与を示唆した。さらに、特に優れた表面硬さと硬化厚さのバランスが得られた Fe-Al-V 系では、Al-N が固溶体中では反発力が働くにもかかわらず、V-N や Ti-N により Al-N クラスターの析出が誘起される現象を発見した。平成 30 年度から新たな共同研究グループを加えてこの析出誘起現象解明にあたり、Al-N ナノクラスター成長に伴う安定性の変化に起因することを第一原理計算により明らかにし、Cr-N で更に大きな Al-N 析出促進効果が期待できることを予測した。

原子レベルの現象であるため実証・観察が困難であった i-s 相互作用について、先端的な実験・観察と計算科学の併用により新たな境地に達しており、学術的な価値が高い。また、材料強度と摩擦・摩耗时の塑性変形の関係について、FEM 計算により有益な知見を得た点も高く評価できる。

得られた知見については多くの企業との共同研究に展開しており、今後の発展が期待される。研究代表者の強いリーダーシップのもと、実験と理論の密接な連携を実現し、新規グループの参加による研究体制の強化を図るとともに、産学共創の場、サイトビジットでのコメントや要望を積極的に取り込み、研究計画に反映する等、柔軟で効果的な研究運営

で成果をあげている点も特筆される。

4-2. 今後の研究に向けての期待

i-s 相互作用やクラスタリングに関する学術の深化、およびそれに基づく摩耗特性向上の指針を得ており、その独創性、学術的意義、産業界への貢献の可能性等、高く評価される。一方で、ナノクラスターによる強化機構を学術的に説明するところまでは至っていない。残された課題、取り組み手段の提案をまとめていただきたい。今後の研究展開として、強化機構解明を図ることで強度予測を可能とし、ナノクラスターを活用した耐摩耗性向上の指導原理を構築することが期待される。

また、得られた成果は産学共創の場等での連携を活用し多くの企業との共同研究に展開されている点は高く評価できる。実用化へ向けて知財権の確保が必須であり、今後は本研究で得られた新指導原理に基づく基本特許の出願をお願いしたい。なお、貴重な成果が数多く出ており、積極的な論文発表も期待する。

今後の展開として代表者から提案された粒界や相界面でのナノクラスタリングや析出制御への展開は、産業界からも注目される重要な課題であり、産業界との対話を継続して研究を推進することが望まれる。

4-3. 総合評価

総合評価 S

窒化表面処理に関して、N-s 相互作用に基づくこれまでにない深い理解と学理を得つつある優れた研究である。置換型合金元素の複合添加鋼の表面窒化による著しい硬化挙動の発見、ナノクラスターやナノ析出物の関与に関する知見、多体間相互作用を取り入れた熱力学解析に基づくナノクラスター形成に対する 2 相分離関与の示唆等、学術的にも工業的にも興味深い基礎的知見を見出しており、期待以上の成果を得ている。一方で、ナノクラスターによる強化機構の学術的解明には至っていない。今後の研究展開として、強化機構解明を図ることで強度予測を可能とし、ナノクラスターを活用した耐摩耗性向上の指導原理を構築することが期待される。

実験と理論の密接な連携、産学共創の場、サイトビジットでのコメントや要望の研究計画への積極的な反映等、研究代表者のリーダーシップによる柔軟で効果的な研究運営で成果をあげている点も特筆される。また、企業との共同研究に発展している点も評価できる。今後は成果の実用化に必須な基本特許の出願と積極的な論文発表にも期待したい。

今後の展開として研究代表者から提案された粒界や相界面でのナノクラスタリングや析出制御への展開は、産業界からも注目される重要な課題であり、産業界との対話を継続して研究を推進していただきたい。また、基本特許の出願もお願いしたい。

以上